

刘 冲,邢锦城,魏福友,等. 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋谷氨酸积累及其代谢酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(10):130-136.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.10.024

# 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋谷氨酸积累及其代谢酶活性的影响

刘 冲<sup>1</sup>,邢锦城<sup>1</sup>,魏福友<sup>2</sup>,董 静<sup>1</sup>,朱小梅<sup>1</sup>,洪立洲<sup>1,2</sup>

(1. 江苏沿海地区农业科学研究所,江苏盐城 224002; 2. 盐城市新洋农业试验站,江苏盐城 224049)

**摘要:**为了阐明外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋谷氨酸积累及其代谢酶活性的影响,采用石英砂砂培试验,以苏马齿苋 2 号为材料,设定 3 个 NaCl 浓度 [ $S_1$  (0 mmol/L)、 $S_2$  (50 mmol/L)、 $S_3$  (100 mmol/L)], 4 个外增硝态氮浓度 [ $N_0$  (0 mmol/L)、 $N_1$  (8 mmol/L)、 $N_2$  (10 mmol/L)、 $N_3$  (12 mmol/L)], 培养 15 d 后对马齿苋各项指标进行测定。结果表明,在  $S_2$  盐分处理下,马齿苋生物量、可溶性蛋白含量、谷氨酸含量以及谷氨酸合成酶活性、谷氨酸脱氢酶活性明显高于  $S_1$  盐分处理。在  $S_3$  盐分处理下,各指标数值明显降低。整体上看,外源硝态氮的添加可增加  $S_1$ 、 $S_2$  盐胁迫下马齿苋生物量、可溶性蛋白含量、谷氨酸含量以及谷氨酸合成酶的活性,基本呈现  $N_2 > N_3 > N_1 > N_0$  的趋势,但对盐胁迫下马齿苋谷氨酸脱氢酶活性的影响不显著。由此可见,外源硝态氮可有效促进盐胁迫下马齿苋中谷氨酸的积累,提高其代谢关键酶活性,以  $S_2N_2$  处理 (50 mmol/L NaCl 浓度,10 mmol/L 外源硝态氮浓度) 效果最佳。

**关键词:**硝态氮;盐胁迫;马齿苋;谷氨酸;代谢酶

**中图分类号:** Q945.79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)10-0130-07

近年来,研究者们普遍认为,土壤盐渍化是全国乃至全球限制农业生产力发展的主要因子之

一<sup>[1]</sup>。我国滩涂资源丰富,盐碱地总面积达 217.09 万  $hm^2$ 。苏北地区拥有全国 1/4 的盐碱地,且每年在不断淤涨,年淤涨面积达 13.3  $km^2$ <sup>[2]</sup>。合理地开发利用广大滩涂资源,使盐碱地变废为宝,是近年来研究的焦点。

马齿苋 (*Portulaca oleracea* L.) 为马齿苋科马齿苋属草本植物,是我国原卫生部审定的药食同源型植物,其氨基酸含量极为丰富<sup>[3]</sup>。马齿苋的环境适

收稿日期:2019-04-03

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(15)1005]。

作者简介:刘 冲(1984—),男,江苏盐城人,硕士,副研究员,主要从事耐盐植物栽培利用研究。E-mail: cellbio@163.com。

通信作者:洪立洲,硕士,研究员,主要从事土壤肥料与盐土农业工程研究。E-mail: ychonglz@163.com。

农业学报,2012,28(6):1498-1500.

[8] 陈 哲,黄 静,赵 佳,等. 防治草莓炭疽病的芽胞杆菌组合的筛选[J]. 中国生物防治学报,2018,34(4):582-588.

[9] 杨 华,纪明山,李广旭,等. 不同发酵条件对苹果轮纹病拮抗细菌生长的影响[J]. 果树学报,2007,24(6):799-802.

[10] Freeman S, Minz D, Kolesnik I, et al. Trichoderma biocontrol of *Colletotrichum acutatum* and *Botrytis cinerea* and survival in strawberry[J]. European Journal of Plant Pathology, 2004, 110(4):361-370.

[11] 张 雪,张志宏,刘月学,等. 木霉菌剂提高“红颜”草莓炭疽病抗性的效应[J]. 西北农业学报,2010,19(8):153-156.

[12] 魏彩燕,毛雪琴,柴荣耀,等. 草莓炭疽病生防菌株 MT-06 的鉴定及生物学特性[J]. 菌物学报,2010,29(4):481-487.

[13] 王 刚,李志强. 小麦内生细菌的分离及其对小麦纹枯菌的拮抗作用[J]. 微生物学通报,2005,32(2):20-24.

[14] 董汉松. 植病研究法[M]. 北京:中国农业出版社,2012.

[15] 韩国兴,礼 茜,孙飞洲,等. 杭州地区草莓炭疽病原鉴定及其对多菌灵和乙霉威的抗药性[J]. 浙江农业科学,2009(6):1169-1172.

[16] 邱德文. 我国植物病害生物防治的现状与发展策略[J]. 植物保护,2010,36(4):15-18,35.

[17] Haas D, Defago G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads[J]. Nature Reviews Microbiology, 2005, 3(4):307-319.

[18] 张力群,张俊威. 假单胞菌产生的抗生素[J]. 中国生物防治学报,2015,31(5):750-756.

[19] 张伟琼,聂 明,肖 明. 荧光假单胞菌生防机理的研究进展[J]. 生物学杂志,2007,24(3):9-11,24.

[20] Yang H J, Tan Z J, Xiao Q M, et al. Biocontrol functions of pseudomonad[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2004, 12(3):158-161.

应性强,可以在盐渍土壤中生长<sup>[4]</sup>。因此,在沿海滩涂区发展马齿苋产业具有良好的应用基础,具有生态、经济双重效应。沿海滩涂土壤属于冲积盐土,是典型的淤泥质海岸带盐渍土,盐分高,养分低,尤其是氮含量不足<sup>[5]</sup>。土壤盐胁迫可产生渗透胁迫、离子毒害等危害,从而造成植株死亡<sup>[6]</sup>。氮素不仅是植物生长的必需元素,还可以作为植物生长调节剂。尤其是在盐胁迫下,氮素不仅能帮助植物有效抵抗盐胁迫对其造成的伤害,保护其生长发育,还能为植物提供营养成分,为氨基酸合成提供重要保证<sup>[7-8]</sup>。

目前,针对外源氮素,尤其是硝态氮对盐胁迫下马齿苋谷氨酸积累及其代谢关键酶活性影响的研究鲜见报道。本研究通过盆栽试验,研究外源硝态氮对 NaCl 胁迫下马齿苋生长发育、可溶性蛋白含量、谷氨酸含量及代谢关键酶(谷氨酸合成酶、谷氨酸脱氢酶)活性的影响,以期为沿海滩涂地区马齿苋的种植及品质改良提供基础理论指导依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点及试验材料

本试验于 2018 年 4—7 月在江苏省沿海滩涂农业工程技术研究中心进行。供试植物为马齿苋,品种为江苏沿海地区农业科学研究所培育的苏马齿苋 2 号。

### 1.2 试验方法

将苏马齿苋 2 号种子用 0.1%  $\text{HgCl}_2$  消毒 10 min 并充分冲洗,再用蒸馏水浸泡 24 h 后播种于盛有蛭石的周转箱中,每天浇水保持蛭石湿润,采用自然光照。待种子萌发后,选取 2 对叶片完全展开的幼苗移栽到装有石英砂、下部有孔的塑料盆钵中。移栽后浇 1/4 Hoagland's 营养液 400 mL。幼苗生长 15 d 后改用 1/2 Hoagland's 营养液浇灌。生长至 30 d 时进行各项参数的测定。

NaCl 胁迫设 3 个浓度梯度,分别为  $S_1$  (0 mmol/L NaCl)、 $S_2$  (50 mmol/L NaCl)、 $S_3$  (100 mmol/L NaCl);添加外源硝态氮,设 4 个浓度梯度,分别为  $N_0$  (0 mmol/L)、 $N_1$  (8 mmol/L)、 $N_2$  (10 mmol/L)、 $N_3$  (12 mmol/L),每个处理重复 3 次。

### 1.3 测定项目及方法

可溶性蛋白含量的测定参照邹琦的方法<sup>[9]</sup>;谷氨酸含量的测定参照纪祥龙等的方法<sup>[10]</sup>;谷氨酸合成酶活性的测定参照 Jiao 等的方法<sup>[11]</sup>;谷氨酸脱氢

酶活性的测定参照夏光利等的方法<sup>[12]</sup>。

### 1.4 数据分析方法

试验数据采用 SPSS 13.0 软件进行统计与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋生长发育的影响

如图 1 所示,在  $S_2$  盐分处理下, $N_0 \sim N_2$  处理马齿苋生物量略高于  $S_1$  盐分处理,但差异不明显。在  $S_3$  盐分处理下,马齿苋生物量明显降低。在  $S_1$ 、 $S_2$  盐分处理下, $N_1$ 、 $N_2$  水平的生物量明显高于  $N_0$  水平;在  $S_3$  盐分水平下,外源硝态氮对马齿苋生长的促进作用不明显。

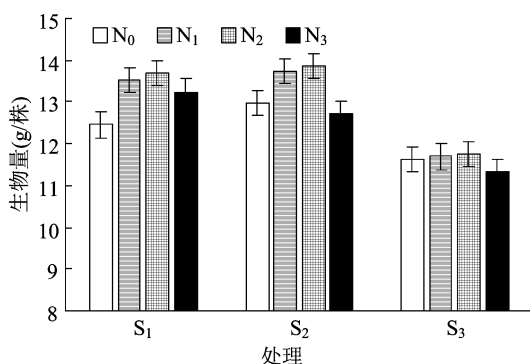


图1 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋生长发育的影响

### 2.2 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋可溶性蛋白含量的影响

从图 2 可以看出,马齿苋叶片中的可溶性蛋白含量大于茎中的含量。随着马齿苋生长期的延长,其叶片、茎中的可溶性蛋白含量大致呈上升趋势,在 90 d 时达到较大值;90 d 后,可溶性蛋白含量大致呈下降趋势,但变化不明显。随着盐胁迫浓度增大(由  $S_1$  增至  $S_2$ ),可溶性蛋白含量明显增加,且叶片中可溶性蛋白含量的增加幅度大于茎中;当盐胁迫浓度达到  $S_3$  时,可溶性蛋白含量明显下降。在盐胁迫下,外源硝态氮处理可以增加马齿苋叶片、茎中的可溶性蛋白含量,且大致呈现  $N_3 > N_2 > N_1 > N_0$  的趋势。其中,外源硝态氮对叶片、茎中可溶性蛋白含量的提升效应分别在  $S_1$ 、 $S_3$  与  $S_3$  盐分处理下较明显。如生长期为 90 d 时,在  $S_1$  盐分水平下, $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$  处理下叶片中的可溶性蛋白含量分别比  $N_0$  处理增加 11.1%、16.2%、24.2%。

### 2.3 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋谷氨酸含量的影响

从图 3 可以看出,马齿苋叶片中谷氨酸含量大

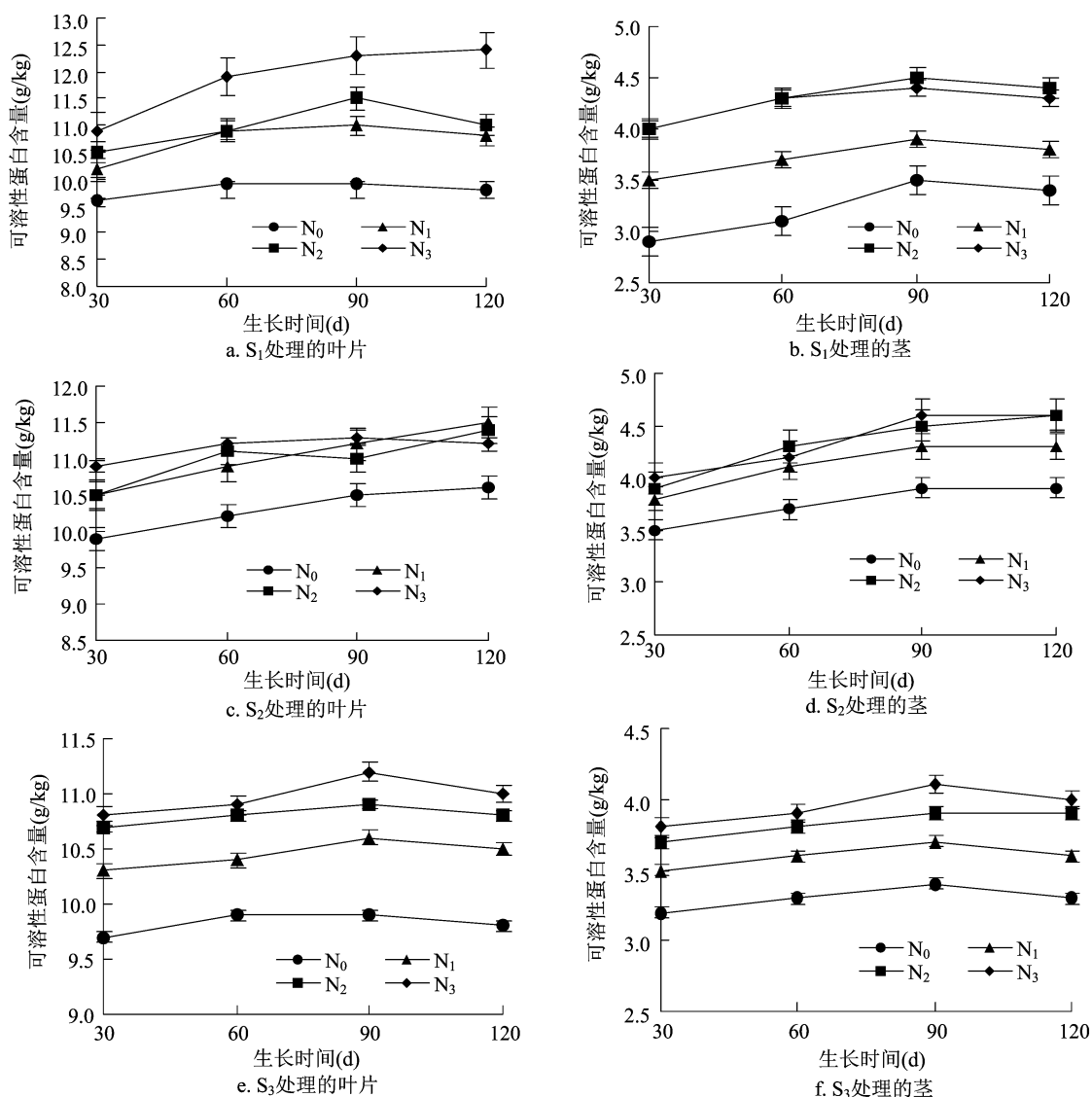


图2 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋可溶性蛋白含量的影响

于茎中的含量。随着生长期的延长,谷氨酸含量在60~90 d时达到较大值,90 d后谷氨酸含量开始明显下降。在S<sub>2</sub>盐分处理下,叶片和茎中谷氨酸含量明显高于S<sub>1</sub>、S<sub>3</sub>处理。盐胁迫下外源硝态氮可进一步提高马齿苋叶片、茎中谷氨酸含量,在90 d之前,部分处理呈现N<sub>2</sub>>N<sub>3</sub>>N<sub>1</sub>>N<sub>0</sub>的趋势。其中,叶片中S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>盐分水平、茎中S<sub>2</sub>盐分水平下外源硝态氮的增产效应较明显。如生长期为90 d时,叶片在S<sub>2</sub>盐分水平,N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>处理下的谷氨酸含量分别比N<sub>0</sub>处理增加8.1%、16.2%、12.3%。在S<sub>3</sub>盐分处理下,外源硝态氮提高马齿苋谷氨酸含量的作用不明显,说明此时的盐胁迫已占主导作用。

#### 2.4 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋谷氨酸合成酶活性的影响

如图4所示,马齿苋茎中谷氨酸合成酶活性大

于叶片中的活性。随着生长期的延长,谷氨酸合成酶活性在90 d时达到较大值,90 d后酶活性开始明显下降,且叶片的下降幅度大于茎。在S<sub>2</sub>盐分处理下,叶片和茎中谷氨酸合成酶活性明显高于S<sub>1</sub>、S<sub>3</sub>处理。外源硝态氮的增施,可进一步提高谷氨酸合成酶的活性。在生长期90 d之前,部分处理呈现N<sub>2</sub>>N<sub>3</sub>>N<sub>1</sub>>N<sub>0</sub>的趋势。叶片中S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>盐分水平、茎中S<sub>2</sub>盐分水平下外源硝态氮处理的增产效应较明显。如生长期为90 d时,在S<sub>2</sub>盐分处理下,N<sub>1</sub>、N<sub>2</sub>、N<sub>3</sub>处理的茎中谷氨酸合成酶活性分别比N<sub>0</sub>处理增加1.5%、13.8%、8.3%。

#### 2.5 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋谷氨酸脱氢酶活性的影响

由图5所示,马齿苋叶片中谷氨酸脱氢酶活性大于茎中的活性。随着生长期的延长,马齿苋叶片

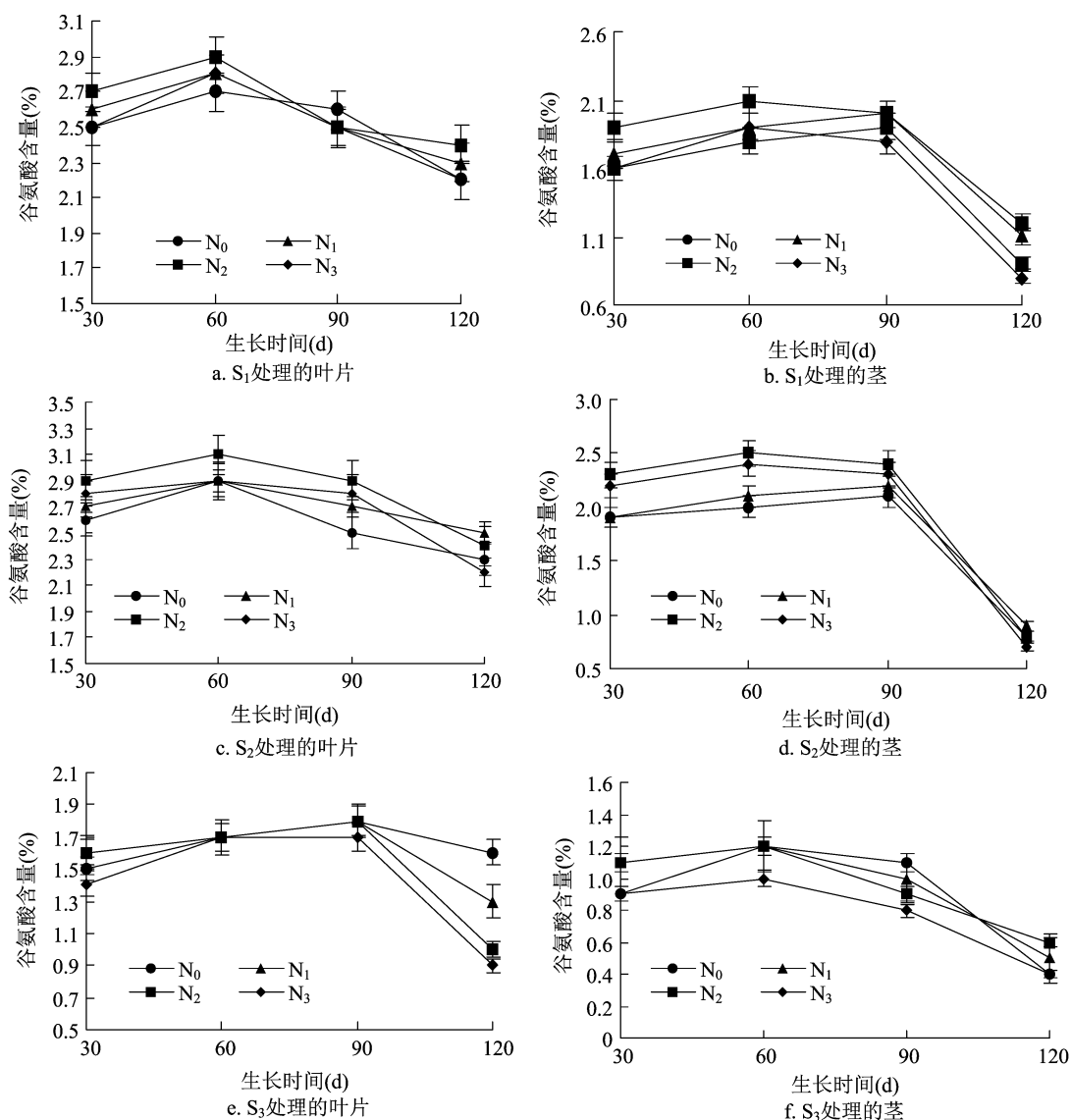


图3 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋谷氨酸含量的影响

中谷氨酸脱氢酶活性呈现缓慢增加的趋势。如 S<sub>1</sub>N<sub>2</sub> 处理下叶片、茎中谷氨酸脱氢酶活性在生长期 120 d 时分别比 30 d 时增加 6.5%、11.1%。

在盐胁迫下,随着胁迫浓度增大,叶片和茎中谷氨酸脱氢酶活性在 S<sub>2</sub> 盐分处理下呈现较大值。外源硝态氮的增施对马齿苋叶片和茎中谷氨酸脱氢酶活性无明显影响。

### 3 结论与讨论

在 NaCl 处理下,植物受到盐分伤害后会通过积累可溶性蛋白和氨基酸等物质以加强渗透调节和自由基清除作用,维持其蛋白质和酶的稳定性,从而缓解盐胁迫带来的伤害<sup>[13]</sup>。如花棒在 NaCl 处理下,叶片中游离氨基酸(包括谷氨酸、脯氨酸等)含

量显著增加<sup>[14]</sup>。植物体内众多氨基酸的生物合成有 1 个主要氨基供体——谷氨酸,其在盐胁迫中的含量变化直接影响其他氨基酸的合成代谢<sup>[12]</sup>。本研究中,在 S<sub>2</sub> 盐分处理下,马齿苋生物量、可溶性蛋白含量及谷氨酸含量整体上高于 S<sub>1</sub> 盐分处理。说明一定浓度的 NaCl 胁迫可促进叶片中谷氨酸含量的积累,有利于叶片耐盐能力的提高,从而促进植株的生长发育。随着 NaCl 浓度进一步提高,植株中大量谷氨酸由于开始为脯氨酸的合成提供氨基供体,从而使其含量显著降低<sup>[15]</sup>。在本研究中,S<sub>3</sub> 盐分处理下的谷氨酸含量开始降低,正印证了此结论。谷氨酸代谢中起关键作用的是限速酶——谷氨酸合成酶(GOGAT)和谷氨酸脱氢酶(NADH - GDH),GOGAT 可以直接反映氮同化能力的强

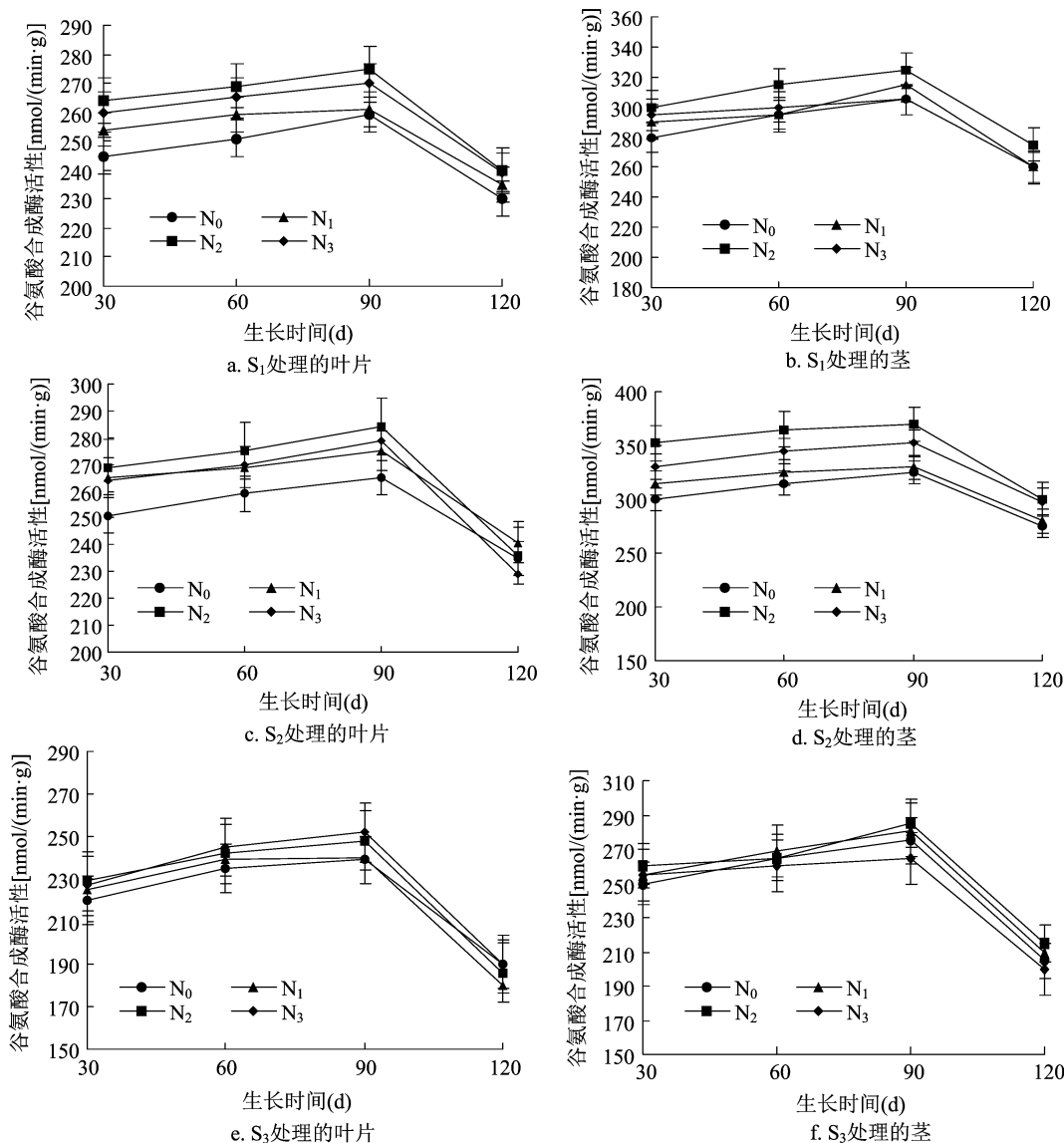


图4 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋谷氨酸合成酶活性的影响

弱<sup>[16]</sup>, NADH - GDH 既能催化氨生物合成谷氨酸, 又能催化谷氨酸氧化进一步释放出氨<sup>[17]</sup>。在本研究中, 马齿苋叶片中谷氨酸脱氢酶活性大于茎中的活性, 而谷氨酸合成酶活性小于茎中的活性。随着 NaCl 胁迫浓度的增大, 谷氨酸合成酶、谷氨酸脱氢酶活性变化同谷氨酸含量, 呈现先升后降的趋势, 均在 S<sub>2</sub> 盐分处理下达到较大值。当马齿苋生长到 90 ~ 120 d 时, 植株进入生殖生长阶段, 叶片和茎中谷氨酸含量、谷氨酸合成酶活性均下降, 且谷氨酸合成酶活性的下降幅度明显大于谷氨酸含量; 在不同 NaCl 浓度处理下, 其下降趋势相同。但谷氨酸脱氢酶活性的变化却不明显。黄国存等认为, 植物组织衰老后, 生长指数下降, 生长指标降低<sup>[18]</sup>, 例如本

研究中的谷氨酸及谷氨酸合成酶等指标。谷氨酸脱氢酶活性没有随生长期的延长出现下降的趋势, 是因为其会在植株体内氮的再利用过程中发挥作用。

通过一定的调控技术改善植物在盐胁迫下的生理代谢, 尤其是氮代谢, 对提高植物的抗盐能力至关重要。在盐胁迫下增施氮源, 就如同在盐碱地上施加氮肥, 不仅能够提供植物所需氮素营养, 还能提高植物的抗盐能力, 缓解盐胁迫对植物的毒害作用<sup>[19]</sup>。如在 NaCl 胁迫条件下, 添加氮源处理可显著提高豌豆品种的地上和地下生物量<sup>[20]</sup>。这是因为氮素能够有效提高植株体内原生质体的水合度, 从而增强原生质的保水能力, 进而能使盐胁迫对

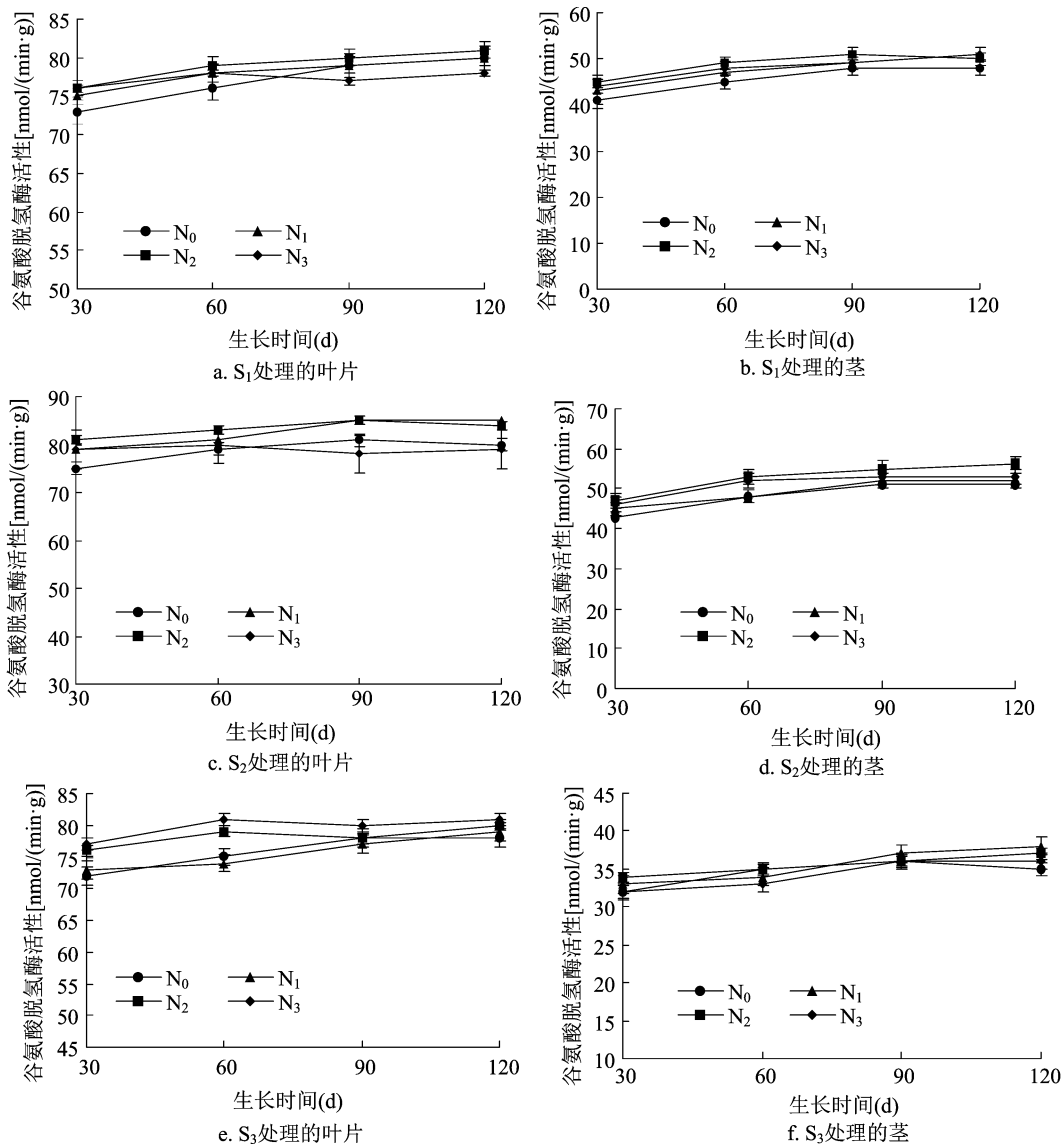


图5 外源硝态氮对盐胁迫下马齿苋谷氨酸脱氢酶活性的影响

植物的渗透伤害得到缓解<sup>[21-22]</sup>。谷氨酸是植物体内重要的含氮化合物,其生物合成及其代谢生理与氮代谢密切相关<sup>[23-24]</sup>。研究发现,外源施氮处理可显著提高油松苗木体内谷氨酸含量<sup>[25]</sup>。在本研究中,NaCl胁迫下外源硝态氮的添加可明显促进马齿苋的生长发育,使其生物量提高,叶片和茎中可溶性蛋白、谷氨酸含量上升,且以 N<sub>2</sub> 水平的效果较好。GOGAT、NADH - GDH 在谷氨酸代谢中参与氮素的同化过程。研究发现,低浓度 N 素水平可显著提高甜菜叶和块根的谷氨酸合成酶活性,而过高的 N 素水平反而抑制其酶活性的提升<sup>[26-27]</sup>。在本研究中,外源硝态氮的增施可提高谷氨酸合成酶的活性,以 N<sub>2</sub> 水平的效果较好,且叶片中外源硝态氮对谷氨酸合成酶活性的提升作用大于茎中。而增施

外源硝态氮对谷氨酸脱氢酶的影响则不明显。

综上所述,S<sub>2</sub> 盐分处理(50 mmol/L NaCl)可促进马齿苋生长发育,提高其生物量,增加马齿苋叶片、茎中的可溶性蛋白、谷氨酸含量,提高谷氨酸合成酶、谷氨酸脱氢酶活性。这是植物自身通过增强渗透调节和自由基清除功能来抵抗盐胁迫给植物带来的不利影响。外源硝态氮的增施,进一步增加了植株原生质体的水合度,增强了原生质的保水能力,从而使盐胁迫对植物的渗透胁迫得到有效缓解。此外,增施外源硝态氮使马齿苋生物量、可溶性蛋白含量、谷氨酸含量以及谷氨酸合成酶的活性得到有效提高,在外源硝态氮浓度为 10 mmol/L (N<sub>2</sub>)时效果较好,且硝态氮的主要调控作用发生在马齿苋生长期 90 d 之前。

## 参考文献:

- [1] 张 蛟, 崔士友. 盐生植物和秸秆覆盖对滩涂极重度盐土养分和降盐效果的影响[J]. 南方农业学报, 2018, 49(1): 56–61.
- [2] 刘 冲, 王茂文, 邢锦城, 等. 苏北沿海滩涂盐肥耦合对甘薯生长及土壤氮素营养的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(9): 2024–2030.
- [3] Marrelli M, Cristaldi B, Menichini F, et al. Inhibitory effects of wild dietary plants on lipid peroxidation and on the proliferation of human cancer cells[J]. Food and Chemical Toxicology, 2015, 86: 16–24.
- [4] 王茂文, 刘 冲, 丁海荣, 等. 苏北沿海滩涂盐肥耦合对马齿苋生长及土壤环境的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 331–337.
- [5] 隆小华, 刘兆普, 陈铭达, 等. 半干旱区海涂海水灌溉茼蒿氮肥效应的研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 114–117, 146.
- [6] 高玉红, 闫生辉, 邓黎黎. 不同盐胁迫对甜瓜幼苗根系和地上部生长发育的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(3): 120–123.
- [7] Frechilla S, Lasa B, Ibarretxe L, et al. Pea responses to saline stress is affected by the source of nitrogen nutrition (ammonium or nitrate)[J]. Plant Growth Regulation, 2001, 35(2): 171–179.
- [8] 姜天华, 温立柱, 郭芸琿, 等. 生物炭与氮肥配施对牡丹叶片氮素营养和籽粒品质的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(9): 2939–2946.
- [9] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 59–61.
- [10] 纪祥龙, 刘长庆, 胡玲玲, 等. 桃蚜与萝卜蚜交互为害对寄主氮营养及蚜虫种间竞争的调节[J]. 中国农学通报, 2019, 35(4): 97–101.
- [11] Jiao D M, Huang X Q, Li X. Photosynthetic characteristics and tolerance to photoxidation of transgenic rice expressing  $C_4$  photosynthesis enzymes[J]. Photosynthesis Research, 2002, 72(1): 85–93.
- [12] 夏光利, 董 浩, 宋绪鹏, 等. 授高油玉米花粉对普通玉米籽粒蛋白质积累及氮代谢相关酶活性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(7): 13–20.
- [13] Tezara W, Marin O, Rengifo E. Photosynthesis and photoinhibition in two xerophytic shrubs during drought[J]. Photosynthetica, 2005, 43: 37–45.
- [14] 燕 辉, 彭晓邦, 薛建杰. NaCl 胁迫对花棒叶片光合特性及游离氨基酸代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(7): 1790–1796.
- [15] Di Martino C, Delfine S, Pizzuto R. Free amino acids and glycine betaine in leaf osmoregulation of spinach responding to increasing salt stress[J]. New Phytologist, 2003, 158: 455–463.
- [16] 莫良玉, 吴良欢, 陶勤南. 高等植物 GS/GOGAT 循环研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 223–231.
- [17] El-Shorn H M, Abo-Kassem E M. Kinetic characterization of glutamate dehydrogenase of marrow cotyledons[J]. Plant Science, 2001, 161: 1047–1053.
- [18] 黄国存, 田 波. 高等植物中的谷氨酸脱氢酶及其生理作用[J]. 植物学通报, 2001, 18(4): 369–401.
- [19] 马少帅, 蒋 静, 马娟娟, 等. 灌水量和施肥量对盐碱土氮素分布和玉米产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(16): 63–67.
- [20] 耿 杰, 张琳捷, 岳小红, 等. 铵态氮和硝态氮调节盐胁迫豌豆幼苗生长和根系呼吸的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4): 1001–1009.
- [21] 徐 宇, 肖化云, 郑能建, 等. 植物组织中游离氨基酸在盐胁迫下响应的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(7): 40–47.
- [22] 宁建凤, 郑青松, 刘兆普, 等. 外源氮对盐胁迫下库拉索芦荟幼苗生长和养分含量的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(4): 663–668.
- [23] 胡承孝, 王运华, 谭启玲, 等. 钼、氮肥配合施用对冬小麦子粒蛋白质及其氨基酸组成的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 224–228.
- [24] Ruiz J M, Rivero R M, Garcia P C, et al. Role of  $CaCl_2$  in nitrate assimilation in leaves and roots of tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.)[J]. Plant Science, 1999, 141(2): 107–115.
- [25] 李 珊, 祝 燕, 李国雷. 秋季施氮对油松幼苗游离氨基酸贮存策略的影响[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(5): 27–32.
- [26] 屈春媛, 张玉先, 金喜军, 等. 干旱胁迫下外源 ABA 对鼓粒期大豆产量及氮代谢关键酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(34): 26–31.
- [27] 滕祥勇, 李彩凤, 谷 维, 等. 甜菜谷氨酸合成酶活性与块根产量、含糖率的相关性分析[J]. 中国土壤与肥料, 2012(3): 65–69.